

# VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut geodézie a důlního měřictví

Výškové a polohové zaměření silnice č. III/47214 (stan. 0,800 km až 2,300 km) a silnice č. II/474 (stan. 19,068 km až 21,421 km) včetně posouzení jejich aktuálního stavu.

The vertical and horizontal measurement of the road No. III/47214 (stat. 0,800 km – 2,300 km) and the road No. II/474 (stat. 19,068 km – 21,421 km) including assessment of the actual situation.

Diplomová práce

Autor:	Bc. Petra Sládková
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Václav Mikulénka, Ph.D.
Studijní obor:	Inženýrská geodézie
Datum zadání diplomové práce:	31. 10. 2009
Datum odevzdání diplomové práce:	30. 04. 2010
Místo školy:	17. listopadu, Ostrava – Poruba

Autorské prohlášení:

#### Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně. Využité písemné materiály jsem uvedl v seznamu použité literatury.
- Byl(a) jsem byl seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v abstraktu, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30. 04. 2010

Bc. Petra Sládková

Poděkování:

Děkuji Ing. Václavu Mikulenkovi, Ph.D. za odborné vedení při vypracování diplomové práce, za cenné rady a připomínky, které mi poskytl během zpracování.

## **Anotace**

Cílem této diplomové práce je zaměření a následné určení hodnot deformací silničního tělesa na úsecích silnice č. III/47214 a č.II/474, které se nachází na poddolovaném území Ostravsko-karvinského uhelného revíru. Pro polohové a výškové geodetické zaměření silnic jsou vybudovány pozorovací stanice. V diplomové práci jsou zpracovány další dvě etapy periodického měření, a to z listopadu 2009 a březnu 2010. Z vyhodnocených výsledků měření vyplývá, že vlivy hlubinného dobývání se na silniční komunikaci výrazně neprojeví.

Klíčová slova: poddolování, deformace, silnice, polohové a výškové měření

## **Abstract**

The purpose of this thesis is measurement and consequent determination of the values of deformations on a part of the roads No. III/47214 and No. II/474 which are situated on undermined territory in the region of Ostrava-Karviná Coal District. For horizontal and vertical geodetic survey of the roads are constructed observation stations. In the thesis are elaborating next two parts of periodic surveys from November 2009 and March 2010. The results of the survey suggest, that the effects of underground mining didn't affect the road.

Key words: undermining, deformations, road, the horizontal and vertical measurement

## Obsah

<b>1.</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Shrnutí dosavadních poznatků z teorie pohybu hornin.....</b>	<b>2</b>
2.1	Poklesová kotlina .....	2
2.2	Mezný úhel vlivu .....	3
2.3	Vliv hloubky uložení ložiska na poklesovou kotlinu.....	3
2.4	Plná účinná plocha .....	3
2.5	Ohraničení poklesové kotliny .....	4
2.6	Pohyby a deformace v poklesové kotlině .....	5
2.6.1	Spojité deformace.....	7
2.6.2	Nespojité deformace.....	11
<b>3.</b>	<b>Vlivy hlubinného dobývání na silniční těleso.....</b>	<b>12</b>
3.1	Kategorizace pozemních komunikací .....	12
3.1.1	Šířkové uspořádání dvojpruhových obousměrných silnic .....	12
3.1.2	Směrové a výškové charakteristiky pozemní komunikace .....	13
3.2	Dopad důlních vlivů na pozemní komunikace.....	14
3.3	Pohyby a deformace a jejich vliv na pozemní komunikace.....	15
3.4	Opatření proti projevům poddolování na pozemní komunikace.....	16
3.5	Zásady pro navrhování pozemních komunikací na poddolovaném území.....	16
<b>4.</b>	<b>Pozorovací stanice pro měření pohybů v poklesové kotlině .....</b>	<b>17</b>
4.1	Rozdělení pozorovacích stanic .....	17
4.2	Stabilizace bodů pozorovacích stanic .....	17
4.3	Tvary pozorovacích stanic .....	18
<b>5.</b>	<b>Rozbor měřických metod použitých na pozorovací stanici .....</b>	<b>19</b>
5.1	Metoda GNSS .....	19
5.1.1	Přesnost a zdroje chyb při měření GNSS.....	19
5.1.2	Metody měření pomocí GNSS.....	20
5.2	Určování polohy bodů polygonometricky .....	21
5.2.1	Polygonový pořad oboustranně připojený a orientovaný.....	21
5.2.2	Oprava délek z kartografické projekce .....	24
5.2.3	Oprava délek z nadmořské výšky .....	24
5.3	Polohové zaměření podrobných bodů polární metodou .....	25
5.4	Trigonometrické měření výšek .....	26
5.4.1	Vliv refrakce a zakřivení země .....	27
5.4.2	Přesnost trigonometrického určovaného výškového rozdílu .....	29

5.5	Určení výšek výchozích výškových bodů.....	29
<b>6.</b>	<b>Vlastní měřické práce .....</b>	<b>31</b>
6.1	Charakteristika měřené lokality .....	31
6.2	Pozorovací stanice .....	31
6.3	Stabilizace podrobných bodů pozorovací stanice .....	32
6.4	Rekognoskace terénu .....	33
6.5	Postup měřických prací .....	33
6.5.1	Měření pomocí GNSS .....	33
6.5.2	Zaměření polygonového pořadu .....	33
6.5.3	Zaměření podrobných bodů pozorovací stanice polohově a výškově ..	34
6.5.4	Výškové připojení měřické sítě.....	34
6.6	Použité přístroje a pomůcky .....	35
6.6.1	Měření GPS .....	35
6.6.2	Měření podrobných bodů, bodů polygonu .....	36
<b>7.</b>	<b>Vyhodnocovací práce .....</b>	<b>38</b>
7.1	Zpracování dat naměřených metodou GNSS.....	38
7.2	Zpracování polygonového pořadu .....	39
7.3	Zpracování výškového připojení.....	41
7.4	Zpracování podrobných bodů .....	41
7.5	Zpracování deformací .....	42
7.6	Zpracování grafických výstupů.....	45
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>46</b>
<b>9.</b>	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>48</b>
<b>10.</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>49</b>
<b>11.</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>50</b>
<b>12.</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>51</b>

## 1. Úvod

Nejrozsáhlejší uhelnou pánví v České republice je Ostravsko – karvinská uhelná pánev, která je součástí hornoslezské pánve. Ta je spjata s těžbou černého uhlí, které je v současnosti dobýváno výhradně hlubinnou těžbou.

Odrubáváním ložiska vznikají v podzemí prázdné prostory, které se při dosažení určitého rozměru zavalují okolními horninami. Tento pohyb se může přenést až na povrch, kde vznikají pohyby a deformace. Ty mají za následek velkou devastaci krajiny a následně způsobují poškození povrchových objektů nacházející se na dotčeném území. Mezi tyto objekty patří i pozemní komunikace.

Od roku 2002 probíhá periodické měření stavu komunikací na poddolovaném území v okrese Karviná v blízkosti bývalého závodu Doubrava a závodu Jan – Karel Dolu ČSA. Úkolem této diplomové práce je polohové a výškové zaměření silnice č. III/47214 (staničení 0,800 km až 2,300 km), silnice č. II/474 (staničení 19,068 km až 21,421 km) včetně posouzení jejich aktuálního stavu. Měření proběhlo ve dvou etapách na podzim 2009 a na jaře 2010.



Obr. 1: Ukázka silnice č. III/47214 u Dolu Karviná

## **2. Shrnutí dosavadních poznatků z teorie pohybu hornin**

Při hlubinném dobývání dochází k postupnému zavalování vyrubaných prostor nadložními horninami. To způsobuje pohyb povrchu, který má za následek vznik poklesové kotliny. Pohyby a deformace v poklesové kotlině určujeme na základě periodických výškových a polohových měření na poddolovaném území.

Rozsah a průběh pohybů nadložních vrstev, a tedy i povrchu závisí na mnoha činitelích:

- geomechanické vlastnosti nadložních i okolních hornin,
- geologické podmínky uložení,
- mocnost ložiska,
- mezný úhel vlivu,
- plošný rozsah dobývacích prací,
- hloubka ložiska pod povrchem,
- technologie dobývání nerostu,
- časový průběh a délka trvání pohybů.

### **2.1 Poklesová kotlina**

Poklesová kotlina je část zemského povrchu mísovitého nebo nálevkovitého tvaru, která vzniká poklesem nadložních vrstev do vydobytého prostoru. U vodorovně uloženého ložiska je představována v řezu ve svislé rovině křivkou souměrnou kolem svislé osy, procházející těžištěm vyrubané plochy [1]. U vyrubané plochy omezené příkými čarami je hranice dána obalovou křivkou kružnic, jejichž rozměr je roven plně účinné ploše. Poklesová kotlina nevzniká najednou, ale postupně podle postupu porubní fronty až k dosažení plně účinné plochy, přičemž jednotlivé body poklesové kotliny musí projít všemi fázemi pohybu při vytváření poklesové kotliny.

Tvar poklesové kotliny může být plynulý (povrch se prohýbá bez viditelných trhlin) nebo nepravidelný (tvoří se trhliny, propadliny nebo zlomy různé velikosti).



## 2.2 Mezný úhel vlivu

Mezný úhel vlivu  $\mu$  je úhel, který s vodorovnou rovinou svírá spojnice okraje vyrubané plochy s místem na povrchu, kde se projevují pohyby a deformace určité (předem dohodnuté) velikosti, při nichž nedochází k poškození povrchových objektů, nebo jsou z praktického hlediska zanedbatelné [2]. Je základní veličinou pro teoretické i praktické úvahy o velikosti a tvaru poklesové kotliny, kde tvoří základ pro výpočet předběžných hodnot poklesů a deformací povrchu a povrchových objektů. Jeho velikost závisí na druhu, skladbě a pevnosti nadložních hornin.

Jeho průměrná hodnota je:

$$\cot g\mu = \frac{h_1 \cot g\mu_1 + h_2 \cot g\mu_2 + h_3 \cot g\mu_3}{h_1 + h_2 + h_3}, \quad (1)$$

kde:  $\mu$  je průměrný mezný úhel vlivu [°],

$\mu_i$  jsou mezní úhly vlivu v jednotlivých souvrstvích [°],

$h_i$  jsou mocnosti jednotlivých souvrství [m].

V Ostravsko – karvinském revíru byly přijaty základní hodnoty mezních úhlů vlivu. V karbonských vrstvách činí tato hodnota  $\mu_k = 65^\circ$  a v terciérním pokryvu  $\mu_t = 55^\circ$ .

## 2.3 Vliv hloubky uložení ložiska na poklesovou kotlinu

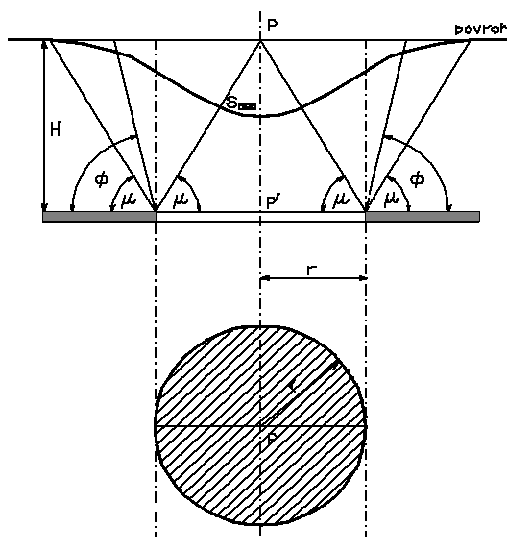
Rozsah a intenzitu deformací povrchu a objektů na něm výrazně ovlivňuje hloubka uložení ložiska. U ložisek nacházejících se do 30 m pod povrchem dochází u nepevného nadloží k prolomení a vytváří se propadliny. V hloubce 30 – 200 m se mění charakter deformací a vznikají trhliny a schodové deformace povrchu. U ložisek v hloubkách nad 200 m nedochází k větším deformacím a tvar poklesové kotliny je plynulejší.

## 2.4 Plná účinná plocha

Plnou účinnou plochu můžeme definovat jako plochu v ložisku, kterou je nutno vyrubat, aby pokles uvažovaného bodu P v nadloží nebo na povrchu byl největší [3].

Velikost plné účinné plochy (obráz. 2) charakterizuje poloměr  $r$ , který se určí ze známé hloubky dobývání a mezního úhlu vlivu:

$$r = H \cdot \cot g \mu \quad (2)$$

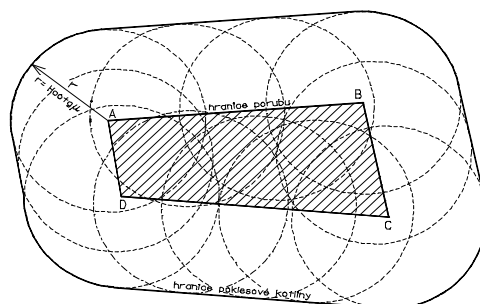


Obr. 2: Plná účinná plocha pro vodorovná ložiska

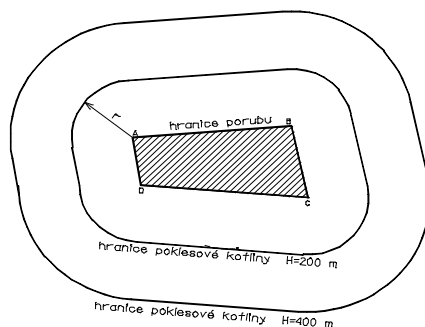
## 2.5 Ohraničení poklesové kotliny

Hranice poklesové kotliny u vyrubané plochy omezené přímými čarami je dána obalovou křivkou kružnic jejíž rozměr odpovídá plné účinné ploše (obráz. 3).

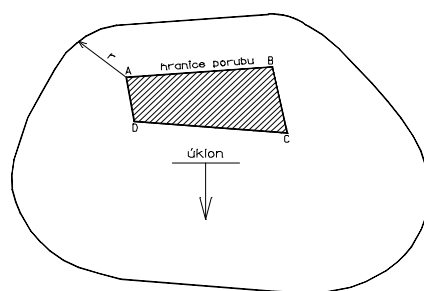
Rozsah poklesové kotliny a velikost poklesu názorně dokumentují izolinie stejných poklesů.



Obr. 3: Hranice poklesové kotliny u vodorovného ložiska



Obr. 4: Obrys poklesové kotliny při vodorovném uložení pro různé hloubky



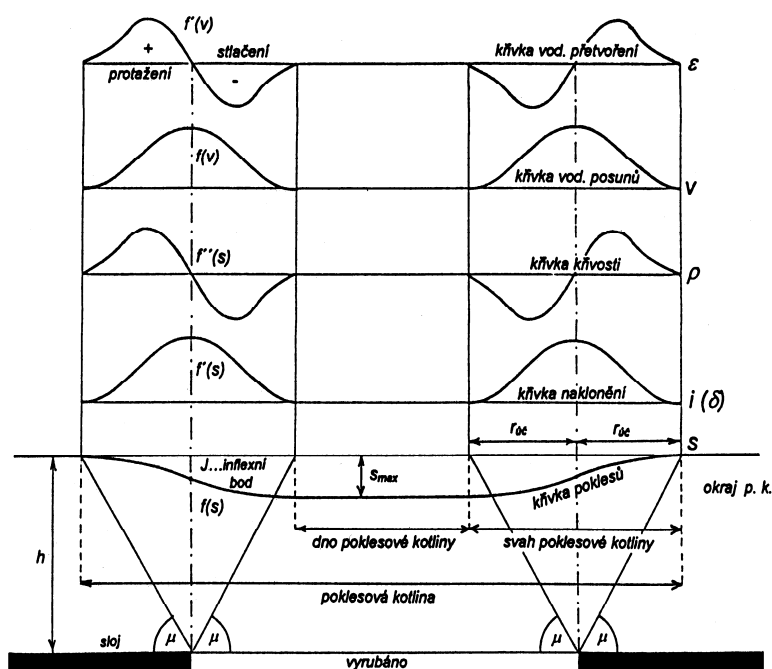
Obr. 5: Obrys poklesové kotliny při ukloněném uložení

## 2.6 Pohyby a deformace v poklesové kotlině

Z obr. 6 je zřejmé, že poklesy narůstají od kraje poklesové kotliny směrem k jejímu středu až do vzdálenosti  $2.r_{úč}$  od kraje poklesové kotliny. Tuto část poklesové kotliny nazýváme svahem poklesové kotliny. Oblast, kde dojde k plnému poklesu  $s_{max}$  nazýváme dno poklesové kotliny. U bodů ležících na dně poklesové kotliny předpokládáme pouze svislý pohyb, u bodů na svahu poklesové kotliny i pohyb vodorovný, vzniklý tím, že bod na svahu poklesové kotliny se pohybuje směrem k vyrubanému prostoru.

Celkový pohyb bodů v poklesové kotlině můžeme rozložit do dvou složek:

- Svislé (poklesy)  $s$ ,
- Vodorovné (posuny)  $v$ .



Obr. 6: Parametry poklesové kotliny

Známe-li hodnoty poklesů pro jednotlivé body spádové přímky svahu poklesové kotliny lze určit křivku poklesů. Její první derivací stanovíme křivku naklonění a druhou derivací křivku křivosti. Z hodnot vodorovných posunů pro jednotlivé body spádové přímky svahu se určuje křivka vodorovných posunů a její první derivací se odvodí křivka vodorovných poměrných přetvoření, která vyjadřuje poměrná stlačení a prodloužení terénu v daném směru [4] .

Při zjišťování skutečných pohybů a deformací můžeme určovat potřebné veličiny:

- **přímo** – opakovaným měřením,
- **nepřímo** – výpočtem z naměřených veličin.

Přímo určujeme následující veličiny:

- Poklesy – geometrickou nivelací, trigonometricky měřením výšek, fotogrammetricky, s využitím technologie GPS,
- Posuny – polohopisným měřením, ordinátometrem, fotogrammetricky, s využitím technologie GPS,
- Naklonění – nákloměry, olovnicemi,
- Vodorovná přetvoření – délkovým měřením, dilatometry, tensometry.

Nepřímo určujeme tyto veličiny:

- Naklonění – z rozdílů poklesů sousedních bodů,
- Křivost – pomocí poloměru zakřivení vypočteného z rozdílu naklonění dvou sousedních úseků nebo poklesu tří bodů,
- Vodorovné přetvoření – z rozdílů posunů dvou sousedních bodů.

Tab. 1: Označení a jednotky jednotlivých druhů pohybů a deformací.

Veličina	Značka	Jednotka
Pokles	$s$	[mm]
Posun	$v$	[mm]
Poloměr zakřivení	$R$	[km]
Naklonění	$i$	[rad], [mm/m], [‰]
Poměrné vodorovné přetvoření	$\varepsilon$	[mm/m], [‰]

### 2.6.1 Spojitá deformace

Jsou charakteristické zejména při dobývání ve větších hloubkách.

Rozlišujeme:

#### **Poklesy (svislý pohyb)**

Poklesy vzniklé v poddolovaném území velkou měrou ovlivňují tvárnost zemského povrchu, přispívají k devastaci inženýrských sítí, sídel, komunikací a přírodní části krajiny. Pokles bodu v poklesové kotlině je dán vztahem [4]:

$$s = M \cdot a \cdot e \cdot z \text{ [mm]}, \quad (3)$$

- kde:  $M$  je mocnost dobývané sloje [m],  
 $a$  je koeficient dobývání - závisí na použité dobývací metodě, nakypření hornin, způsobu zakládání a rychlosti postupu porubní fronty,  
 - může nabývat hodnot 0 až 1  
 $e$  je účinkový koeficient - závisí na velikosti a tvaru vyrubané plochy a na poloze této plochy vůči uvažovanému bodu na povrchu,  
 - nabývá hodnot v rozmezí 0 až 1  
 $z$  je časový faktor - závisí především na geologických vlastnostech souvrství a na geologickém uložení ložiska,  
 - nabývá hodnot v rozmezí 0 až 1.

Pokles bodu za určité časové období se určuje z rozdílu výšek  $V_j$ ,  $V_k$  naměřených na začátku a na konci daného období  $\Delta t$ .

Pokles bodu je pak dán výrazem:

$$s_{\Delta t} = V_k - V_j \text{ [mm]}, \quad (4)$$

### Posuny (vodorovný pohyb)

Posuny jsou vodorovnou složkou pohybového vektoru. Hodnota posunu daného bodu se určí jako rozdíl z polohy bodů určených na začátku a na konci časového období, pomocí vztahu [4]:

$$^i v_{\Delta t_{j,k}} = \sqrt{\left(^i X_{t_k} - ^i X_{t_j}\right)^2 + \left(^i Y_{t_k} - ^i Y_{t_j}\right)^2} \quad (5)$$

kde:  $^1 v_{\Delta t_{j,k}}$  je posun bodu  $P_1$  za období  $\Delta t_{j,k}$  [m],

$(^1 X_{t_j}, ^1 Y_{t_j})$ ,  $(^1 X_{t_k}, ^1 Y_{t_k})$  jsou souřadnice bodu  $P_1$  na začátku a konci časového období [m]

Směr posunu bodu  $P_1$  [4]:

$$^1 \sigma_{v_{\Delta t}} = \arctg \frac{^1 Y_{t_k} - ^1 Y_{t_j}}{^1 X_{t_k} - ^1 X_{t_j}} \quad (6)$$

Lineární deformace vznikají v důsledku posunů, projevují se jako:

- roztážení (účinkem napětí v tahu),
- stlačení (účinkem napětí v tlaku).

### Naklonění (denivelace)

V důsledku nestejnoměrnosti poklesů v různých částech poklesové kotliny dochází ke vzniku naklonění. Hodnoty poklesů se zvětšují směrem dovnitř poklesové kotliny, na dně kotliny je naklonění nulové.

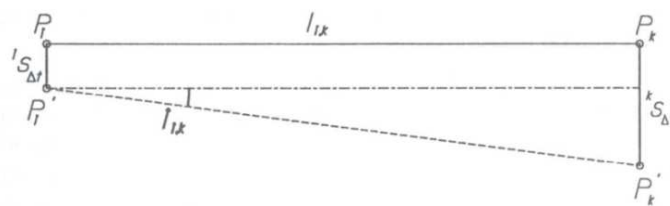
Hodnota naklonění  $i$  se vyjadřuje v radiánech [rad], v promilích [‰] nebo v milimetrech na metr délky [mm/m].

Metody určování naklonění:

- přímo – pomocí speciálních přístrojů
- nepřímo – výpočtem z poklesů dvou sousedních bodů, v případě roviny z poklesů tří bodů

Známe-li hodnoty poklesů  ${}^i s_{\Delta t}$ ,  ${}^k s_{\Delta t}$  dvou bodů terénu  $P_i$ ,  $P_k$  za dobu  $\Delta t$  a vodorovnou vzdálenost  $l_{i,k}$  mezi nimi, naklonění  $i$  vypočteme podle vztahu [4]:

$$i_{i,k} = \frac{{}^k s_{\Delta t} - {}^i s_{\Delta t}}{l_{i,k}} \quad [\text{mm/m}] \quad (7)$$



Obr. 7: Naklonění dvou sousedních bodů

### Poloměr zakřivení

Tvar poklesové kotliny je tvořen na svých svazích zakřivenými plochami s proměnlivým poloměrem zakřivení  $\rho$ . Zakřivení u krajní části svahů je vypuklé (konvexní) s poloměrem  $\rho$ , u dna kotliny je zakřivení vyduté (konkávní) s poloměrem

zakřivení  $\rho'$ . Určuje se z naměřených hodnot poklesů tří bodů ležící v přímé linii, kterými opíšeme kružnici ve svislé rovině proložené těmito body.

Pro určení poloměru zakřivení se využívá například vztah [4]:

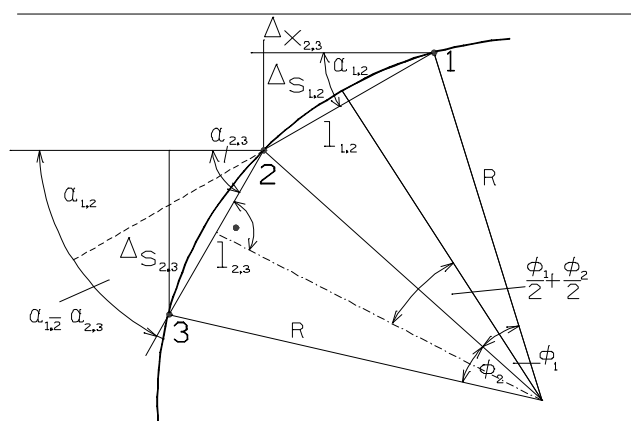
$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{l_{1,2} + l_{2,3}}{\left( \frac{\Delta s_{2,3}}{l_{2,3}} - \frac{\Delta s_{1,2}}{l_{1,2}} \right)} \quad [\text{km}], \quad (8)$$

kde:  $l_{1,2}$  je vzdálenost bodů P1 a P2 [m],

$l_{2,3}$  je vzdálenost bodů P1 a P2 [m],

$\Delta s_{1,2}$  je rozdíl poklesů bodů P2 a P1 [mm],

$\Delta s_{2,3}$  je rozdíl poklesů bodů P3 a P2 [mm].



Obr. 8: Určení poloměru křivosti.

### Poměrné vodorovné přetvoření

Poměrné vodorovné přetvoření  $\epsilon$  se určí na základě změny vzdálenosti dvou bodů  $P_i$  a  $P_k$  za dobu  $t$  k jejich původní vzdálenosti [4]:

$${}^t\epsilon_{i,k} = \frac{{}^t l_{i,k} - {}^0 l_{i,k}}{{}^0 l_{i,k}} \cdot 10^3 \quad [\text{mm/m}] \quad (9)$$

Projevují se stlačením nebo roztažením základové půdy.



### **2.6.2 Nespojité deformace**

Tyto deformace jsou pro povrchové objekty mnohem nebezpečnější než spojitě deformace, zejména jsou nebezpečné pro stavební objekty z důvodů náhlých projevů. Většinou je nejsme schopni předvídat.

Nespojitě deformace povrchu jsou charakteristické pro hlubinné dobývání nerostných surovin z malých hloubek. Vyskytují se v oblastech s pevným nadložím a tektonickými poruchami, při dobývání strmého ložiska. Vznikají terénní stupně, terénní vlny, trhliny, příkopové propadliny. Vyskytují se vždy se spojitým přetvořením terénu.

### 3. Vlivy hlubinného dobývání na silniční těleso

Jedním z objektů zasažených nepříznivými vlivy hlubinného dobývání jsou liniové stavby včetně pozemních komunikací. Negativní dopady se projevují zejména poklesy na povrchu terénu.

#### 3.1 Kategorizace pozemních komunikací

Silniční komunikace se dle zákona č.13/1997 Sb. O silničních komunikacích dělí na:

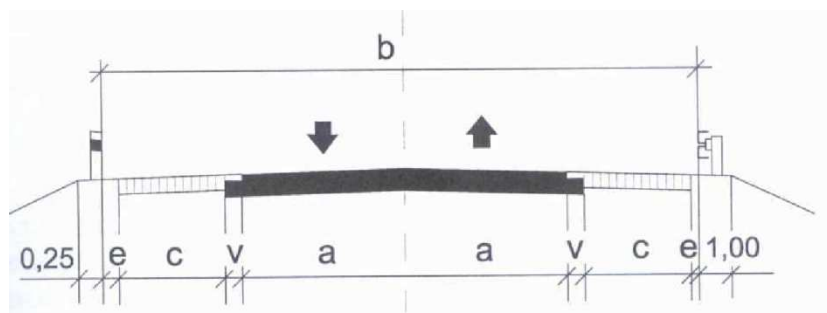
- dálnice,
- silnice (I. – III. třídy),
- místní komunikace (I. – IV. třídy),
- účelové komunikace.

Norma ČSN 73 6101 určuje návrhové kategorie silnic, rychlostních silnic a dálnic. Základní parametry silničních komunikací jsou vyjádřeny zlomkem, ve kterém je v čitateli písmeno označující typ silniční komunikace a kategoriální šířka v [m]. ve jmenovateli je uvedena rychlost v [km/h].

##### 3.1.1 Šířkové uspořádání dvojpruhových obousměrných silnic

Koruna *pozemní* komunikace u směrově nerozdělených silnic se dělí na [5]:

- kategorickou (volnou) šířku  $b$ ,
- obousměrný jízdní pás složený ze dvou protisměrných jízdních pruhů šířky  $a$ ,
- vodící proužky šířky  $v$ ,
- zpevněné části krajnice šířky  $c$ ,
- nezpevněné části krajnice šířky  $e$ ,
- šířku pro osazení bezpečnostních zařízení - směrových sloupků 0,25 m,
  - svodidel 1,00 m.



Obr. 9: Dvoupruhová silniční komunikace a její šířkové parametry

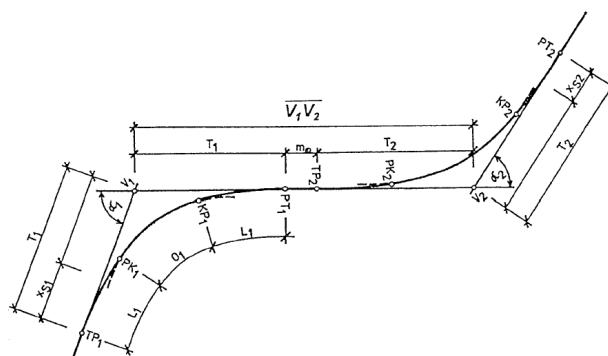
Tab. 2: Šířkové uspořádání dvoupruhové obousměrné komunikace [5].

Kategorie			Šířka			
Typ	b[m]	Návrhová rychlost [km/h]	a [m]	v [m]	c [m]	e [m]
S	7,5	70; 60; 50	3,00	0,25	0,25	0,25
	9,5	80; 70; 60	3,50	0,25	0,50	0,50
	10,5				1,00	
	11,5				1,50	
R	11,5	100; 80; 70	3,50	0,25	1,50	0,50

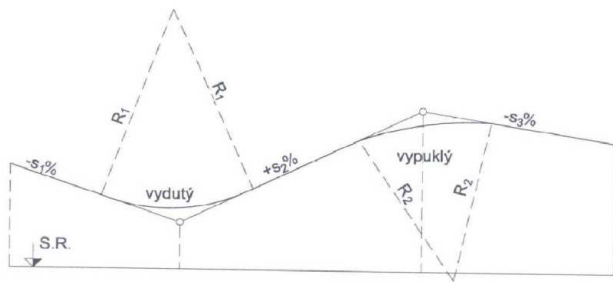
### 3.1.2 Směrové a výškové charakteristiky pozemní komunikace

Trasa pozemní komunikace je prostorová čára, která vyjadřuje směrové a výškové vedení komunikace. Je charakterizována osou a niveletou pozemní komunikace.

- osa komunikace – svislý průmět komunikace do vodorovné roviny, který je tvořen přímými úseky a oblouky (obr. 10),
- niveleta – je tvořena výškovým polygonem, do jehož vrcholů jsou vloženy výškové zakružovací oblouky (obr. 11).



Obr. 10: Osa pozemní komunikace



Obr. 11: Niveleta trasy pozemní komunikace

### 3.2 Dopad důlních vlivů na pozemní komunikace

Silnice je pevně spojena s územím kterým prochází. Důsledky působení hlubinného dobývání se negativně projeví na pozemních komunikacích. Důlní škody, které vzniknou můžeme rozdělit [6]:

- *přímé důlní škody*: poruchy vznikající v důsledku poddolování (například drcení propustí, trhání a borcení vozovky).
- *nepřímé důlní škody*: poruchy, vzniklé dopadem změn v oblasti okolo silničního tělesa (například změna vodního režimu, ohrožení stability, ztráta omezení funkce odvodňovacího systému silni).
- *společenské ztráty*: zhoršený stav silnic má za následek snížení rychlosti dopravy, rychlejší opotřebování vozidla, větší náklady na opravu silničního tělesa.

Přímé důlní škody s ohledem na jejich odstranění dále rozdělujeme na [6]:

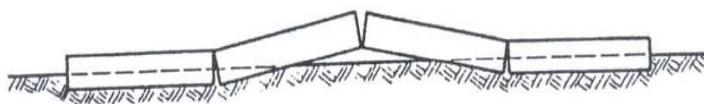
1. Kategorie – škody spočívající v deformaci nivelety silnice, zhoršují provozní podmínky na silnici, ale nedochází k poškození povrchu vozovky.
2. Kategorie – škody projevující se drobným porušením vozovky, odstranění běžnou údržbou například nátěry.
3. Kategorie – škody většího typu, jako jsou rozpraskané vozovky, ojediněle stupňovité zlomy. Napravují se položením nového krytu vozovky, místní sanace vozovky.
4. Kategorie – škody, které dosahují až devastačního charakteru. Mají za následek omezení nebo úplnou nepřístupnost dopravy na dané silnici. Oprava vyžaduje

rekonstrukci vozovky, která je prováděna vysypáním do úrovně nové nivelety a zhotovením nové kvalitní živičné vozovky.

### **3.3 Pohyby a deformace a jejich vliv na pozemní komunikace**

Následky hlubinného dobývání na pozemní komunikace nemají takový dopad jako na železniční dopravu, kde je nutné mít stálý a optimální spád. Stav komunikací i přesto ovlivňují některé z deformací [7]:

- Naklonění – ovlivňuje změny v podélném a příčném sklonu vozovky,
  - je přímým důsledkem nerovnoměrného poklesu,
  - největších hodnot nabývá na okraji poklesové kotliny.
- Svislý pokles – pro pozemní komunikaci je nebezpečný pokud dojde k poklesům velkých hodnot za krátký čas, vznikají pak stupňovité zlomy terénu.
- Vodorovné posuny – v případě plynulých a rovnoměrných posunů se nejedná o nebezpečné projevy.
- Vodorovné deformace – jejich vznik je důsledkem nerovnoměrných posunů,
  - projeví se stlačením nebo roztažením vozovky.
- Stlačení – objevují se v místech, kde jsou do silničního tělesa vloženy nepružné prvky, jako obrubník,
  - stlačení způsobuje vznik terénních vln, ty mají za následek deformace těchto prvků i přilehlých částí vozovky (obr. 12).
- Roztažení – v jeho důsledku dochází ke vzniku trhlin, kterými vtéká do násypu voda a zhoršuje tak celý stav silničního tělesa.



Obr. 12: Dopad deformace stlačením terénu na obrubník.

### **3.4 Opatření proti projevům poddolování na pozemní komunikace**

Opatření předběžná – pravidelné měření pohybů a deformací vozovky, sanace podélného a příčného profilu, periodické opravy silnic, opravy náhlých poruch, spolupráce s těžební organizací při schvalování plánu dobývání a opatření pro ochranu objektů na povrchu.

Opatření, které lze učinit přímo v dole při dobývání - ponechání ochranného pilíře pod objektem (například při dobývání mocných slojí uložených v malých hloubkách), použití základky, vhodná hloubka dobývání.

### **3.5 Zásady pro navrhování pozemních komunikací na poddolovaném území**

Všeobecné zásady pro navrhování pozemních komunikací se řídí dle ČSN 73 0039 [8].

- Novostavby silnic a dálnic se mají navrhovat jen na staveništích skupiny III až V.
- Novostavby silnic a dálnic se nenavrhují na staveništích s očekávaným výskytem nespojitých přetvoření terénu (terénní vlna, terénní stupeň, propadlina).
- Trasu pozemní komunikace je dobré vest rovnoběžně s vrstevnicemi očekávaných poklesů (dochází pak k rovnoměrnému klesání).
- Je dobré volit niveletu novostavby, rekonstrukce a další návrhové prvky s rezervou, aby přípustný podélný a příčný sklon, volné výšky a šířky podjezdů, nebyly překročeny ani při výskytu maximálních hodnot přetvoření terénu.
- Využití odpadních materiál (popílku, důlní hlušiny) pro násypová tělesa komunikací.
- Konstrukce vozovky musí být dostatečně pružná a lehce opravitelná.
- Obrubníky je třeba navrhovat co nejkratší s pružným spojením a to v co nejnútnejších případech.
- Vedení inženýrských sítí, které vyžaduje rektifikaci se nedoporučuje vést v tělese komunikace.

## **4. Pozorovací stanice pro měření pohybů v poklesové kotlině**

Při dobývání nerostných ložisek se zřizují pro následné sledování vlivů poddolování pozorovací stanice. Měření na pozorovacích stanicích se dále využívá při sledování stability povrchových objektů a zařízení, pro zajištění jejich funkčnosti a případné provádění jejich oprav.

Pozorovací stanice se zřizují k určení následovných parametrů na povrchu vznikající poklesové kotliny [4]:

- Rozsah poklesové kotliny - je dán velikostí mezních úhlů vlivu  $\mu$ , čímž lze určit území dotčené vlivy poddolování a poloměr plně účinné plochy  $r_{úč}$ .
- Svislé poklesy  $s$  - určení jejich maximální hodnoty. Z poklesů odvozené hodnoty naklonění  $i$  ( $\delta$ ) a poloměry zakřivení  $R$ , případně křivosti  $\rho$  svahu poklesové kotliny.
- Vodorovné posuny  $v$  - jejich směr  $\sigma$  v poklesové kotlině a z nich odvozená přetvoření  $\epsilon$  (stlačení nebo roztážení).

### **4.1 Rozdělení pozorovacích stanic**

Podle účelu dělíme pozorovací stanice:

- pro pozorování poklesů,
- pro pozorování posunů,
- pro pozorování vodorovných přetvoření,
- pro pozorování naklonění,
- víceúčelové, smíšené stanice.

### **4.2 Stabilizace bodů pozorovacích stanic**

Způsob stabilizace bodů pozorovacích stanic je dána rozsahem a účelem jejich zřízení. Nejjednodušší je stabilizace pro určení svislých poklesů. Body jsou umístěny na zdech objektů pomocí čepových značek. V extravilánu se obvykle stabilizují svorníky zabetonované v 1 m hlubokém vrtu o průměru 15 – 20 cm a mohou být využity i pro pozorování vodorovných pohybů. Je třeba zajistit jejich stabilitu především proti vymrzání. V místech, kde je nepevné podloží (například násypy) se provádí hloubková stabilizace

s ukotvením svorníku až v pevném podloží [4]. Vzdálenosti mezi jednotlivými pevnými body pozorovací stanice je dána hlavně účelem měření.

### **4.3 Tvary pozorovacích stanic**

Tvar a velikost pozorovacích stanic se volí v závislosti na poklesové kotlině. Pro nehluboká a malá ložiska jsou okrajové body pozorovací stanice zřizovány mimo poddolované území. Jejich tvar je buď liniový – ve tvaru osového kříže, několika profilů, trojúhelníkových řetězců nebo plošný – tvar čtvercové, trojúhelníkové sítě, síť roztroušených bodů [4]. Pro větší hloubky a při velkém rozsahu dobývání se pozorovací stanice zřizují pro sledování omezené části poklesové kotliny. Je nutné výškové a polohové připojení z území které není ovlivněno poddolováním.

Pro měření poklesů se používá obvykle metody geometrické nivelace ze středu, pro sledování posunů metoda GNSS, trojúhelníkové řetězce, polygonometricky, rajony.



## **5. Rozbor měřických metod použitých na pozorovací stanici**

### **5.1 Metoda GNSS**

Globální navigační družicový systém GNSS (Global Navigation Satellite System) nám umožňuje určit prostorové souřadnice bodů kdekoli na povrchu Země. Jsou vyvinuty systémy GNSS GLONASS (Rusko), GNSS GALILEO (Evropa), GNSS COMPASS (Čína), NAVSTAR GPS (USA). Nejrozšířenější je systém NAVSTAR (Navigation System With Timing and Ranging), který zabezpečuje Ministerstvo obrany Spojených států amerických, původně byl vyvinut pro vojenské účely.

Je tvořen třemi základními segmenty [9]:

Řídicí (kontrolní) segment – jeho úkolem je předávání vypočtených poloh a parametrů družic na všechny družice asi každé 2 hodiny. Řídicí segment kontroluje chod celého systému a vysílá datové a korekční zprávy k jednotlivým družicím.

Kosmický segment – tvoří ho družice, které obíhají ve výšce cca 20 200 km nad Zemí na šesti oběžných drahách. Oběžné dráhy satelitů se od sebe vzájemně odklánějí o cca 60°. Na jedné oběžné dráze se pohybuje obvykle čtyři až pět družic. Ve skutečnosti obíhá kolem Země zhruba 30 družic, ale současně aktivních je zpravidla 24, ostatní jsou vždy záložní. Z jednoho místa na Zemi bývá v přímé viditelnosti antény přijímače 6 až 12 družic. Doba oběhu činí přibližně 11 hodin a 59 minut.

Uživatelský segment – systém GNSS pracuje pouze jednosměrně, tedy družice vysílají a pozemské stanice přijímají. Na základě přijatých dat přijímač vypočítá polohu antény, nadmořskou výšku, přesný čas a datum. Tento segment tvoří všechny aparatury GNSS včetně příslušných software.

#### **5.1.1 Přesnost a zdroje chyb při měření GNSS**

Při posuzování využití metody GNSS je nutno přihlédnout zejména k těmto kritériím: kvalita družic, faktor DOP (vliv geometrie rozložení družic), odhadnutá chyba ve vypočtené pseudovzdálenosti, elevační úhel. Důležitá je také délka měření, současná observace alespoň na dvou bodech, dostatečně viditelná část oblohy.

Mezi chyby, které ovlivňují měření [9] patří: chyby hodin družic a přijímače (v důsledku zpomalení času vzniká chyba), ionosférická refrakce, troposférická refrakce, mnohacestné šíření signálu, neznalost přesné polohy fázového centra vysílací antény.

### **5.1.2 Metody měření pomocí GNSS**

#### ***Statická metoda***

Střední polohová chyba u této metody je  $m_p = 3 - 5$  mm. Jde o metodu časově nejnáročnější, ovšem poskytující nejpřesnější výsledky. Tato metoda spočívá v kontinuální observaci několika aparatur po dobu několika hodin až dnů. Používá se pro speciální práce s maximální požadovanou přesností.

#### ***Rychlá statická metoda (pseudostatická metoda)***

Střední polohová chyba u této metody je  $m_p = 5 - 10$  mm + 1 ppm. Doba observace při této metodě dosahuje několika minut, umožňuje to technologie rychlého určování ambiguit. Používá se pro zhušťování základních i podrobných bodových polí a budování prostorových sítí nižších přesností.

#### ***Metoda stop and go (polokinematická metoda)***

Střední polohová chyba u této metody je  $m_p = 10 - 20$  mm + 1 ppm. Tato metoda je obdobná rychlé statické metodě, přijímač však nepřestává měřit ani při přesunu mezi jednotlivými podrobnými body. Na měřených bodech je možno měření zkrátit na několik sekund za předpokladu, že během přesunu nedošlo ke ztrátě signálu. Tato metoda se využívá pro určování souřadnic podrobných bodů.

#### ***Kinematická metoda***

Střední polohová chyba je  $m_p = 20 - 30$  mm + 3 ppm. Metoda rozlišuje dvě technologie měření, kinematickou metodu s inicializací (vyřešení ambiguit) a bez inicializace. Metoda vychází z předpokladu, že ambiguita je možno určit na základě přesných kódových měření i při pohybu přijímače.

#### ***RTK (kinematická metoda v reálném čase)***

Střední polohová chyba u této metody je  $m_p = 30 - 50$  mm. Jedná se o nejnovější metodu měření. Využívá rádiového přenosu korekcí fázového měření od referenčního k pohybujícímu se přijímači. Tato metoda má uplatnění při vytyčování, určování souřadnic bodů podrobných bodových polí a podrobných bodů.

## 5.2 Určování polohy bodů polygonometricky

Tato metoda je založena na postupném určování polohy bodů, kdy je nutno měřit všechny úhly  $\omega_i$  a délky polygonových stran. Pro výpočet polygonového pořadu se používají levostranné vrcholové úhly  $\omega_i$  a vodorovné délky  $s_i$ .

Polygonové pořady můžeme rozdělit podle různých hledisek a to:

Dle tvaru na:

- otevřené,
- uzavřené.

Dle souřadnicového systému na:

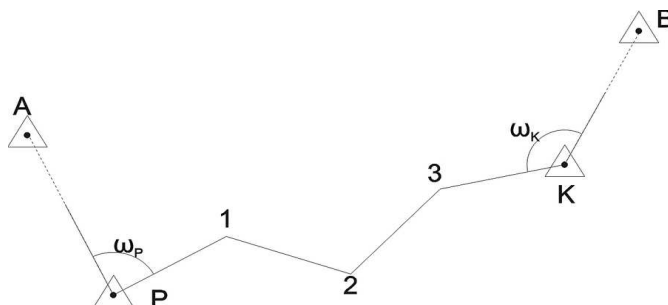
- volné,
- vázané.

Dle způsobu připojení ke stávajícím bodům na:

- oboustranně připojené a orientované,
- oboustranně připojené a jednostranně orientované,
- jednostranně připojené a orientované,
- vsunuté,
- uzavřené.

### 5.2.1 Polygonový pořad oboustranně připojený a orientovaný

U tohoto typu polygonového pořadu jsou známy souřadnice počátečního P a koncového K bodu. Dále známe souřadnice bodů A a B pomocí kterých byl polygonový pořad orientován. Měřeny jsou také všechny levostranné vrcholové úhly  $\omega_i$  a všechny vodorovné vzdálenosti  $s_i$ .



Obr. 13: Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad

**Postup výpočtu [10]:**

- Výpočet směrníků  $\sigma_{PA}$ ,  $\sigma_{KB}$ :

$$tg \sigma_{PA} = \frac{Y_A - Y_P}{X_A - X_P}, \quad (10)$$

$$tg \sigma_{KB} = \frac{Y_B - Y_K}{X_B - X_K}, \quad (11)$$

- Vyrovnání vrcholových úhlů: pomocí směrníků  $\sigma_{PA}$  a naměřených vrcholových úhlů  $\omega_i$  vypočítáme předběžné směrníky  $\sigma'_{i,i+1}$

$$\sigma'_{PI} = \sigma_{PA} + \omega'_P, \quad (12)$$

$$\sigma'_{I2} = \sigma'_{PI} + \omega'_I \pm 180^\circ, \quad (13)$$

$$\sigma'_{23} = \sigma'_{I2} + \omega'_2 \pm 180^\circ, \quad (14)$$

$$\sigma'_{3K} = \sigma'_{23} + \omega'_3 \pm 180^\circ, \quad (15)$$

$$\sigma'_{KB} = \sigma_{PA} + [\omega'] - i180^\circ, \quad (16)$$

- Výpočet úhlové odchylky: vlivem nahodilých chyb při úhlovém měření vzniká

$$O\omega = \sigma_{KB} - \sigma_{KB'} \quad (17)$$

- Výpočet úhlového vyrovnání: úhlovou odchylku můžeme rozdělit na jednotlivé vrcholové úhly pouze za předpokladu, že platí:

$O\omega = \leq D\omega$ , kde  $D\omega$  je maximální dovolená odchylka.

$$\delta_\omega = \frac{O_\omega}{n}, \quad (18)$$

- Výpočet libovolného vyrovnaného úhlu  $\omega_i$ :

$$\omega_i = \omega'_i + \delta\omega, \quad (19)$$

- Výpočet vyrovnaných směrnic: vypočtený směrnic se musí shodovat se směrníkem  $\sigma_{KB}$  vypočteným ze souřadnic bodů K, B.

$$\sigma_{P1} = \sigma_{PA} + \omega_P, \quad (20)$$

$$\sigma_{12} = \sigma_{P1} + \omega_1 \pm 180^\circ, \quad (21)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{12} + \omega_2 \pm 180^\circ, \quad (22)$$

$$\sigma_{34} = \sigma_{23} + \omega_3 \pm 180^\circ, \quad (23)$$

$$\sigma_{KB} = \sigma_{3K} + \omega_K \pm 180^\circ, \quad (24)$$

- Výpočet a vyrovnaní souřadnicových rozdílů: provádí se na základě vyrovnaných směrnic a vodorovných délek, které jsou opraveny o systematické chyby.

$$\Delta Y'_{P1} = S_{P1} \cdot \sin \sigma_{P1}, \quad \Delta X'_{P1} = S_{P1} \cdot \cos \sigma_{P1}, \quad (25)$$

$$\Delta Y'_{12} = S_{12} \cdot \sin \sigma_{12}, \quad \Delta X'_{12} = S_{12} \cdot \cos \sigma_{12}, \quad (26)$$

$$\Delta Y'_{23} = S_{23} \cdot \sin \sigma_{23}, \quad \Delta X'_{23} = S_{23} \cdot \cos \sigma_{23}, \quad (27)$$

$$\Delta Y'_{3K} = S_{3K} \cdot \sin \sigma_{3K}, \quad \Delta X'_{3K} = S_{3K} \cdot \cos \sigma_{3K}, \quad (28)$$

- Výpočet polohových odchylek  $O_X$ ,  $O_Y$ :

$$\Delta Y_{PK} = Y_K - Y_P, \quad \Delta X_{PK} = X_K - X_P, \quad (29)$$

$$O_Y = \Delta Y_{PK} - [\Delta Y'], \quad O_X = \Delta X_{PK} - [\Delta X'], \quad (30)$$

- Výpočet odchylky v poloze koncového bodu  $O_{XY}$ : musí vyhovovat podmínce, že  $O_{XY} \leq D_{XY}$ , kde  $D_{XY}$  je maximální povolená odchylka v poloze koncového bodu

$$O_{XY} = \sqrt{O_X^2 + O_Y^2}, \quad (31)$$

Rozdělení povolené odchylky:

$$\delta_{Yi,i+1} = \frac{O_Y}{[\Delta Y']} \cdot \Delta Y'_{i,i+1}, \quad \delta_{Xi,i+1} = \frac{O_X}{[\Delta X']} \cdot \Delta X'_{i,i+1}, \quad (32)$$

Vyrovnnání souřadnicových rozdílů:

$$\Delta Y_{i,i+1} = \Delta Y'_{i,i+1} + \delta Y_{i,i+1}, \quad \Delta X_{i,i+1} = \Delta X'_{i,i+1} + \delta X_{i,i+1}, \quad (33)$$

- Výpočet vyrovnaných souřadnic bodů: podmínkou je, aby se vypočtené souřadnice  $Y_K, X_K$  shodovaly se stávajícími souřadnicemi koncového bodu K.

$$Y_P = \text{dáno}, \quad X_P = \text{dáno},$$

$$Y_1 = Y_P + \Delta Y_{P1}, \quad X_1 = X_P + \Delta X_{P1}, \quad (34)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{12}, \quad X_2 = X_1 + \Delta X_{12}, \quad (35)$$

$$Y_3 = Y_2 + \Delta Y_{23}, \quad X_3 = X_2 + \Delta X_{23}, \quad (36)$$

$$Y_1 = Y_3 + \Delta Y_{3K}, \quad X_K = X_3 + \Delta X_{3K}, \quad (37)$$

### 5.2.2 Oprava délek z kartografické projekce

Aby se omezilo zkreslení délek při kartografické projekci je pro území České republiky použito Křovákovo konformní kuželové zobrazení. Poloha osy kužele se volí tak, aby délkové zkreslení bylo co nejmenší. Velikost zkreslení je závislá na vzdálenosti od počátku souřadnicové soustavy. Zkreslení se pohybuje mezi hodnotami od  $-10 \text{ mm}/100\text{m}$  až po  $+14 \text{ mm}/100\text{m}$ .

### 5.2.3 Oprava délek z nadmořské výšky

Souřadnicový systém S-JTSK je vztažen k úrovni hladiny moře. U délek, které jsou měřeny nad nebo pod touto hladinou je potřeba zavést opravu z nadmořské výšky. Délky měřené pod nulovou hladinou budou menší a délky měřené nad touto nulovou hladinou budou naopak větší. Je to způsobeno v důsledku sbíhavosti tížnic. Pro výpočet opravy délek z nadmořské výšky platí vztah [10]:

$$v_h = -s \frac{h}{R}, \quad (38)$$

kde:  $s$  je měřená délka,

$R$  je poloměr Země.

### 5.3 Polohové zaměření podrobných bodů polární metodou

S rozvojem digitální přístrojové techniky se stala tato metoda nejrozšířenější při měření polohopisu i výškopisu. Princip určení polohy bodu touto metodou spočívá ve zaměření délky a směru mezi stanoviskem a podrobným bodem. Výpočet souřadnic bodů se provádí dle vztahů:

- nejprve je třeba měřené délky opravit o systematické chyby (z kartografického zkreslení, nadmořské výšky, vliv prostředí).
- výpočet směrníku  $\sigma_{PA}$  první geodetickou úlohou, potom se spočítají jednotlivé směrníky  $\sigma_{Pi}$ .

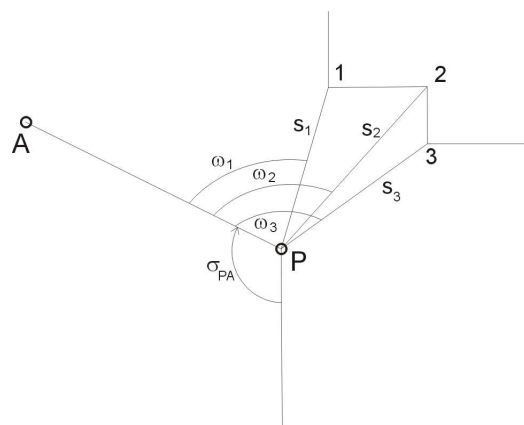
$$\sigma_{Pi} = \sigma_{PA} + \omega_i \quad (39)$$

- jednotlivé souřadnice podrobných bodů se poté spočítají druhou geodetickou úlohou.

$$Y_i = Y_P + s_{Pi} \cdot \sin \sigma_{Pi} , \quad (40)$$

$$X_i = X_P + s_{Pi} \cdot \cos \sigma_{Pi} \quad (41)$$

kde:  $s_{Pi}$  jsou vodorovné délky opravené o systematické chyby,  
 $\sigma_{Pi}$  jsou směrníky jednotlivých stran.



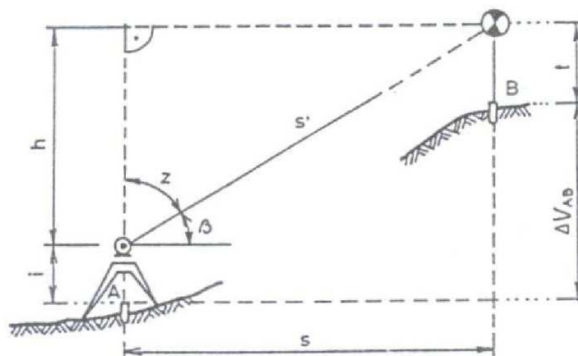
Obr. 14: Princip měření polární metodou

## 5.4 Trigonometrické měření výšek

Jedná se o metodu výškového měření, při kterém určujeme převýšení mezi dvěma body. Nástup přesnějších elektronických přístrojů přispěl k rozšíření využívání této metody určování výšek. Přesnost určování výšek ovlivňuje refrakce a zakřivení Země. Jejich působení můžeme omezit dodržováním těchto postupů při měření:

- délka záměry do 200 m,
- délky záměr vpřed a vzad přibližně stejně dlouhé,
- výška odrazného systému s terčem by se neměla při přetáčení ze záměry vpřed na záměr vzad měnit,
- pořad by měl začínat a končit na bodech s přibližně stejnou nadmořskou výškou.

Principem určení výškového rozdílu dvou bodů je řešení vertikálního pravoúhlého trojúhelníku (obr. 15).



Obr. 15: Princip určení převýšení

Výška zaměřeného bodu se určí ze vztahu:  $v_B = v_A + s \cdot \operatorname{tg} \beta + i - j \pm Q$  (42)

kde:  $s$  je vodorovná vzdálenost,

$\beta$  je výškový úhel,

$i$  je výška stanoviště,

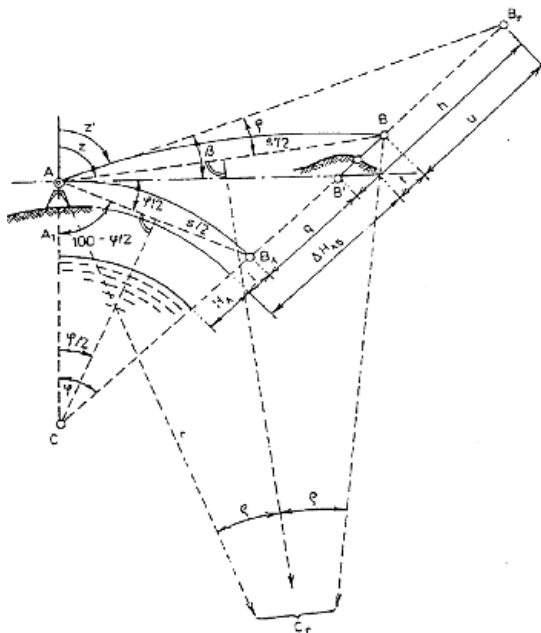
$j$  je výška terče,

$Q$  je souhrnný vliv refrakce a zakřivení Země.



### 5.4.1 Vliv refrakce a zakřivení země

Při delších vzdálenostech dvou bodů (nad 250 m) je potřeba zavést k těmto délkám opravu z refrakce a opravu ze zakřivení Země (z výškového rozdílu mezi skutečným a zdánlivým horizontem).



Obr. 16: Oprava z refrakce a zakřivení Země

Výpočet převýšení dvou bodů na větší vzdálenosti:

$$\Delta V_{AB} = h + q - u + i - t \quad (43)$$

kde:  $q$  je oprava ze zakřivení Země,

$u$  je oprava z vlivu refrakce.

### Chyba z refrakce

Při průchodu paprsku atmosférou se postupně paprsek vlivem tlaku a teploty zalamuje a tím vytváří tzv. refrakční křivku. Pozorovatel stojící na bodě A zacílí dalekohledem na bod B, čímž se zenitový úhel zvětší o malý refrakční úhel  $\rho$  (obr. 15). Na velikosti úhlu  $\rho$  závisí chyba  $u$  určovaného výškového rozdílu. Refrakční úhel se pak vypočítá ze vztahu [11]:

$$\rho = \frac{R \cdot \varphi}{2r} = k \cdot \frac{\varphi}{2} \quad [^\circ], \quad (44)$$

$$k = \frac{R}{r}, \quad (45)$$

kde:  $\rho$  je refrakční úhel  $[^\circ]$ ,

$R$  je poloměr referenční koule [km],

$r$  je poloměr světelného paprsku, který vychází z cíle B a prochází přibližně po kruhové dráze do bodu A [km],

$k$  je refrakční koeficient,

$\varphi$  je úhel sbíhavosti tížnic  $[^\circ]$ .

Vliv refrakce na výškový rozdíl:

$$u = s \cdot \rho = s \cdot k \cdot \frac{\varphi}{2} = k \cdot s \cdot \frac{s}{2R} = k \cdot \frac{s^2}{2 \cdot R} \quad [\text{m}], \quad (46)$$

kde:  $u$  je oprava z vlivu refrakce [m],

$s$  je vodorovná vzdálenost bodů A a B [m],

$k$  je refrakční koeficient,

$\varphi$  je úhel sbíhavosti tížnic  $[^\circ]$ ,

$R$  je poloměr referenční koule [m].

Celkový vliv zakřivení Země a refrakce na naměřený výškový rozdíl pak je:

$$O_r = q - u = \frac{s^2}{2R} - k \frac{s^2}{2R} = \frac{s^2}{2R} (1 - k), \quad (47)$$

přičemž obě opravy narůstají úměrně se čtvercem vzdálenosti a oprava z refrakce  $u$  působí v opačném směru než oprava ze zakřivení  $q$ .

Hodnota refrakčního koeficientu se pohybuje na našem území okolo 0,08 – 0,18. Pro výšky uvažujeme jeho průměrnou hodnotu.

### Chyba ze zakřivení Země

Máme-li sférický povrch Země, pak rovina kolmá na svislý směr v daném bodě je rovinou vodorovnou a označujeme ji jako zdánlivý horizont. Zdánlivý horizont je tečnou rovinou ke skutečnému horizontu. Opravu ze zakřivení Země  $q$  vypočteme z trojúhelníku  $ABAB$ , který považujeme za pravoúhlý. Z bodu A do bodu B měříme výškový úhel  $\beta$  od zdánlivého horizontu místo od horizontu skutečného (obr. 16). Délku oblouku AB můžeme považovat za stejnou s délkou ABA po přímce. Oprava ze zakřivení pak bude:

$$q = s \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \cong s \cdot \frac{\varphi}{2} = \frac{s^2}{2R} \quad [\text{m}], \quad (48)$$

kde:  $R$  je poloměr referenční koule [m],  
 $s$  je vodorovná vzdálenost bodů A a B [m],  
 $\varphi$  je úhel sbíhavosti tížnic [°].

Rozdíl  $q$  mezi skutečným a zdánlivým horizontem roste se čtvercem vzdálenosti a nelze jej zanedbat.

#### **5.4.2 Přesnost trigonometrického určovaného výškového rozdílu**

Přesnost měření nám ovlivňuje proměnlivá hodnota refrakčního koeficientu, můžeme její vliv zmenšit pokud budeme měřit současně výškové úhly na obou bodech. Povolená odchylka trigonometrického měření výšek se řídí vyhláškou ČBÚ č. 435/1992 Sb. [12]:

$$D = \pm 40 \cdot 10^{-3} \sqrt{L} \quad [\text{m}], \quad (49)$$

kde:  $L$  je délka trigonometrického pořadu [km].

### **5.5 Určení výšek výchozích výškových bodů**

Pro výškové měření na poddolovaném území nám jako výchozí body slouží nivelační body, které leží na nepoddolovaném území, případně v oblastech s minimálními poklesy, jejichž výška se pravidelně kontroluje. To má vliv na skutečné hodnoty poklesů pozorovaných bodů, proto se musí provádět interpolace nebo extrapolace výšek výchozích bodů pozorovací stanice.

### Interpolace výšek

Interpolace výšek výchozích bodů se vypočítá pro časové období, ve kterém proběhlo měření na pozorovací stanici. Naměřené hodnoty se přepočítají podle vztahu [4]:

$$V_{t_j} = V_{t_i} + \frac{V_{t_{i+1}} - V_{t_i}}{t_{i+1} - t_i} \cdot (t_j - t_i), \quad (50)$$

### Extrapolace výšek

Extrapolace výšek výchozích bodů pro měření na pozorovací stanici se stanoví z dosavadního vývoje poklesu bodů, na které připojujeme výškové měření dle vztahu [4]:

$$V_{t_j} = V_{t_i} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_{t_i} - V_{t_{i-1}}}{t_i - t_{i-1}} + \frac{V_{t_i} - V_{t_{i-2}}}{t_i - t_{i-2}} \right) \cdot (t_j - t_i), \quad (51)$$

kde:  $V_{t_j}$  je výsledná výška bodu pro určenou dobu měření  $t_j$  [m],

$V_{t_{i-2}}, V_{t_{i-1}}, V_{t_i}$  jsou předchozí naměřené výšky bodu v časech  $t_{i-2}, t_{i-1}, t_i, t_{i+1}$  [m].

## **6. Vlastní měřické práce**

### **6.1 Charakteristika měřené lokality**

Jednotlivé sledované úseky silnic se nacházejí v severovýchodní části Ostravsko-karvinské uhelné pánve v blízkosti bývalého závodu Doubrava a závodu Jan-Karel Dolu ČSA. Dobývací prostor se nachází na katastrálním území obcí Orlová, Karviná a Doubrava. Rozloha dobývacího prostoru Dolu ČSA na povrchu činí cca 26,1 km<sup>2</sup>.

Úhelné sloje mají převážně subhorizontální uložení ve směru severozápadním až severním s úklonem od 4° do 15°. Důlní pole se vyznačuje značnou členitostí. Vyskytují se jak dílčí poruchy poklesového charakteru o amplitudách od desítek cm, tak o výrazné kerní tektoniky v řádu stovek metrů. Hlavní dobývací metodou v této oblasti je směrné stěnování z pole na zával. Přípravná díla ve slojích se razí razíci kombajny. Hornické práce probíhají v hloubce 700 m až 1000 m pod povrchem.

### **6.2 Pozorovací stanice**

Pozorovací stanice byla zřízena Institutem geodézie a důlního měřictví VŠB – TUO v letech 2002 a 2003, za účelem periodického měření a sledování vlivů poddolování na silnice č. II/474 a č. III/47214. V roce 2006 byla silnice III/47214 kompletně zrekonstruována a proto u tohoto úseku se za první měření považuje měření z října 2007.

První etapa vlastního měření se uskutečnila v listopadu 2009, druhá etapa proběhla v březnu 2010.

Pozorovací stanice se skládá ze dvou pozorovacích měřických přímek:

- na silnici č. III/47214 (staničení 0,800 km – 2,300 km),
- na silnici č. II/474 (staničení 19,068 km – 21,421 km).

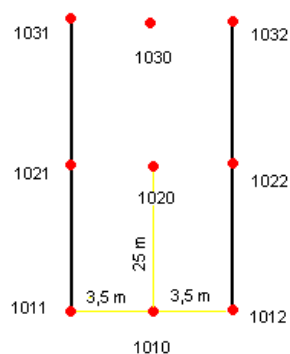


Obr. 17: Oblast, ve které se nachází sledované silnice

### 6.3 Stabilizace podrobných bodů pozorovací stanice

Body pozorovací stanice byly stabilizovány geodetickými ocelovými hřeby, tam kde se nestabilizovalo hřeby, byla použita dočasná stabilizace pomocí barvy.

Silnice se v osách rozměřily pásmem po 25 m. Následně se na stabilizovaných bodech vytyčily kolmice na obě strany na osu silnice a stabilizovaly se body na komunikaci ve vzdálenosti 3,75 m a 4,75 m (z důvodu technické kategorie silnic S 7,5 a S 9,5) od osy komunikace.



Obr. 18: Ukázka číslování a stabilizace podrobných bodů

## **6.4 Rekognoskace terénu**

Rekognoskace terénu proběhla v říjnu 2009, cílem bylo navrhnout a stabilizovat body polygonového pořadu, pokud nedošlo k poškození nebo zničení polygonových bodů pořadu z minulé etapy bylo možno je využít. Dále byly vyhledány body pozorovací přímky, pokud došlo k jejich poškození byly znovu rozměřeny a stabilizovány. Při rekognoskaci se také zkontrolovaly výškové vztažné body.

Pro lepší přehlednost byly body zvýrazněny barvou a některé označeny čísly.

## **6.5 Postup měřických prací**

Vlastní měření proběhlo ve dvou etapách, na podzim 2009 a na jaře 2010. Byly použity stejné postupy a měřicí přístroje. Postup měření proběhl následovně:

### **6.5.1 Měření pomocí GNSS**

Pro vytvoření transformačního klíče byly zvoleny trigonometrické body č. 000927100280, 000936060390, 000936020020, 000927050040, 000927050120, 000936012190 na nepoddolovaném území. Trigonometrické body se volily tak, aby určované body byly umístěny uvnitř obrazce vytvořeného trigonometrickými body (příloha 1).

Pro obě etapy byl zvolen za referenční bod č. 000927100280. V každé etapě se měřilo nezávisle dvakrát, rychlou statickou metodou aparaturou Leica Systém 500. Doba observace na každém bodě byla minimálně 15 minut. V první etapě 24. a 25.10.2009 se měřily orientační a koncové body polygonového pořadu a body transformačního klíče, v druhé etapě 4.3.2010 se měřily pouze body polygonového pořadu a transformační klíč pro následný výpočet polohy bodů byl použit z první etapy měření.

### **6.5.2 Zaměření polygonového pořadu**

Pro obě etapy měření bodů polygonového pořadu byl použit přístroj Leica TCR307. Před každým měřením byly určeny hodnoty teploty vzduchu a atmosférického tlaku, které se zadaly do programu přístroje pro eliminaci systematické chyby z teploty a

tlaku. Úhly byly měřeny ve třech skupinách za použití trojpodstavcové soustavy. Při měření se zaznamenávaly délky mezi jednotlivými body, výška stroje a signálů.

Pro úsek silnice č. II/474 byl polygonový pořad tvořen body č. 7002 až 7019, orientace byla na body č. 7001 a 7020. Souřadnice bodů č. 7001, 7002, 7019, 7020 byly určeny metodou GPS.

Pro úsek silnice č. III/47214 byl polygonový pořad tvořen body č. 5021 až 6012, orientace byla na body č. 5020 a 6013. Souřadnice bodů č. 6012, 6013 byly určeny metodou GPS, souřadnice bodů 5020, 5021 jsou převzaty z jiné diplomové práce, u které měření probíhalo souběžně.

### **6.5.3 Zaměření podrobných bodů pozorovací stanice polohově a výškově**

Pro polohové a výškové určení podrobných bodů pozorovací stanice byla využita metoda tachymetrie. Pro obě etapy měření byl použit přístroj Leica TCR307. Před každým měřením byly určeny hodnoty teploty vzduchu a atmosférického tlaku, které se zadaly do programu přístroje pro eliminaci systematické chyby z teploty a tlaku. Úhly a délky bodů na ose pozorovací stanice se měřily ve dvou polohách dalekohledu. Pro zmenšení pohybu trasírky s odrazným hranolem se využívalo dvoulaťové podpěry. Opět se zaznamenávala výška stroje a signálu. Jednotlivé podrobné body se číslovají v ose komunikace o hodnotu odsazenou o 10 (například 1010, 1020, 1030 atd.), okrajové body komunikace se číslovají z leva (např. 1011, 1021, 1031 atd.) doprava (např. 1012, 1022, 1032 atd.) vzhledem k bodu v ose komunikace.

### **6.5.4 Výškové připojení měřické sítě**

Výškové připojení výchozích a koncových bodů pro výpočet výškového pořadu bylo měřeno metodou GNSS nebo trigonometricky z bodů ČSNS, u kterých byla výška extrapolována z „revírní“ nivelace k datu měření.

Bod č. 7004 byl výškově připojen trigonometricky z nivelačního bodu P4. Bod č. 7019 a č. 6012 byl výškově určen pomocí metody GNSS. Výška bodu 5021 byla převzata z jiné diplomové práce, která byla měřena souběžně.



## 6.6 Použité přístroje a pomůcky

### 6.6.1 Měření GPS

- GPS aparatura Leica Systém 500 – 2ks,
- stativ – 2 ks,
- externí baterie – 4 ks.



Obr. 19: GPS Systém 500

#### **Technické parametry Leica Systém 500**

Přijímač	SR 530
Typ přijímače	dvoufrekvenční, geodetický, RTK
Metody měření	statická, rychlá statická, kinematická, RTK, DGPS
Měření na L1	12 kanálů, fázová měření C/A – kódu, korelace P – kódu
Měření na L2	12 kanálů, fázová měření P, podpora řešení P – kódu při AS
Standardní anténa	AT 502
Přesnost polohy při postprocesingu	
Přesnost v poloze = přesnost základny, přesnost výšky = 2x poloha	
Statická	3 mm + 0,5 ppm
Rychlá statická	5 mm + 1 ppm
Stop and Go	nepoužívá se

### 6.6.2 Měření podrobných bodů, bodů polygonu

- **elektronický tachymetr Leica TCR 307**
- stativ – 3 ks,
- trojpodstavcová souprava – 2ks,
- vytyčka s odrazným hranolem – 1ks,
- digitální teploměr, tlakoměr – 1ks,
- 50m pásmo – 1ks,
- skládací dvojmetr – 2 ks.



Obr. 20: Elektronický tachymetr Leica TCR 307

### Technické parametry Leica TCR307

#### Dalekohled

Zvětšení	30x
Obraz	vzpřímený
Průměr objektivu	40 mm
Zorné pole	1° 30′
Nejkratší vzdálenost záměry	1,7 m

#### Měření úhlů

Jednotky	stupně, grady
Přesnost odečtení	7 ″, 2 <sup>ccg</sup>
Nejmenší čtení	1 ″

Kompenzátor – kapalinový

Rozsah urovnání	4′
Přesnost urovnání	2″

Citlivost libely

Krabicová	6′/2 mm
Elektronická	20″/2 mm

Laserová olovnice

Přesnost	0,8 mm/1,5 m
Průměr laserové stopy	2,5 mm/1,5 m

Ostatní parametry

Napájení	Ni + Mh baterie
Hmotnost	4,46 kg
Pracovní teplota	-20 °C ÷ +50 °C
Přesnost infračerveného dálkoměru	2 ÷ 5 mm + 2 ppm
Přesnost laserového dálkoměru	3 ÷ 5 mm + 2 ppm

## 7. Vyhodnocovací práce

### 7.1 Zpracování dat naměřených metodou GNSS

Pro výpočet byl použit software Leica SKI-Pro. Protokoly o výpočtech uvedeny v příloze 1.2 . Body č. 5001, 5002, 5028, 5029 nejsou součástí této diplomové práce.

Tab. 3: Seznam souřadnic bodů použitých pro výpočet transformačního klíče.

Č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
000936020020	457957,40	1110541,81	347,09
000927050040	458655,06	1094462,18	230,56
000927050120	450528,56	1095583,17	266,90
000927050150	454759,78	1096961,15	215,91
000927100280	461060,51	1095899,34	249,77
000936060390	463472,98	1107061,92	258,83
000936012190	452141,44	1103239,64	240,45

Tab. 4: Seznam souřadnic bodů určených metodou GPS pro I. Etapu.

Č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
5001	459598,78	1101352,77	237,17
5002	459607,41	1101248,83	236,47
5027	456094,54	1100126,75	223,93
5028	456228,87	1100031,36	225,59
6012	454983,63	1101862,87	229,65
6013	454811,81	1101946,76	235,96
7001	458871,24	1099981,50	279,65
7002	458804,07	1099916,42	283,39
7019	458830,79	1101890,69	239,08
7020	458905,89	1101952,80	237,88

Tab. 5: Seznam souřadnic bodů určených metodou GPS pro II. Etapu.

Č. b.	Y [m]	X [m]	H [m]
5001	459598,76	1101352,78	237,20
5002	459607,40	1101248,84	236,49
5027	456094,56	1100126,77	223,95
5028	456228,89	1100031,37	225,62
6012	454983,62	1101862,88	229,69
6013	454811,80	1101946,78	235,98
7001	458871,22	1099981,51	279,68
7002	458804,05	1099916,43	283,43
7019	458830,78	1101890,71	239,12
7020	458905,91	1101952,82	237,91

Rozdíly souřadnic bodů naměřených ve dvou etapách nepřekročily hodnotu 3 cm, což svědčí o utlumení vlivu hornické činnosti v daných oblastech a současně potvrzuje výsledky připojení.

## 7.2 Zpracování polygonového pořadu

Z elektronického tachymetru TCR 307 byla data přenesena do PC pomocí software Leica Survey Office. Pro zpracování byl použit software Groma v.7.0. a program Kokeš v. 8.53.0.

Opravy z refrakce, kartografického zkreslení, nadmořské výšky a zakřivení Země byly provedeny automaticky pomocí použitého software.

### 7.2.1 Přesnost určení bodů podrobného polohového bodového pole

Povolená odchylka v poloze koncového bodu podle vyhlášky č. 435/1992Sb. ČBÚ [12] je:

$$D_{xy} = \pm 10^{-3} \sqrt{k_1 \cdot L + k_2 [RR]} \quad [\text{m}], \quad (52)$$

kde:  $k_1 = 10$ ,

$k_2 = 0,06$ ,

$[L]$  je součet délek měřených stran [m],

$[RR]$  je součet čtverců přímých vzdáleností jednotlivých bodů polygonového pořadu od koncového bodu [m<sup>2</sup>].

- Povolena odchylka v poloze koncového bodu pro polygonový pořad „7000” je [RR] = 20150258, [L] = 2587,  $D_{XY} = 1,12$  m.
- Povolena odchylka v poloze koncového bodu pro polygonový pořad „6000“ je [RR] = 17954100, [L] = 2034,  $D_{XY} = 1,05$  m.
- Povolena odchylka ve směrníku poslední strany měřeného polygonového pořadu nesmí překročit hodnotu dle vyhlášky č. 435/1992Sb. ČBÚ [12].

$$U_1 = \pm 93'' \cdot \sqrt{n}, \quad (53)$$

kde:  $n$  je počet měřených vrcholových úhlů.

- Povolena odchylka ve směrníku poslední strany pro polygonový pořad „7000”:  
 $U_1 = \pm 93 \text{ mgon} \cdot \sqrt{18} = 394 \text{ mgon}$ .
- Povolena odchylka ve směrníku poslední strany pro polygonový pořad „6000“:  
 $U_2 = \pm 93 \text{ mgon} \cdot \sqrt{13} = 335 \text{ mgon}$ .

Pro povolenou odchylku výškového pořadu trigonometrické nivelace dle vyhlášky č. 435/1992Sb. ČBÚ [12] platí, že výškový uzávěr pořadu nesmí překročit hodnotu, která vychází ze vztahu:

$$D = \pm 40 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{L} [\text{m}], \quad (54)$$

kde:  $L$  je délka výškového pořadu v [km].

- Povolena odchylka výškového pořadu „7000“:

$$D = \pm 40 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2,4} = 0,07 \text{ m}, \quad (55)$$

- Povolena odchylka výškového pořadu „6000“:

$$D = \pm 40 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2,1} = 0,06 \text{ m}, \quad (56)$$

Skutečné odchylky nepřekročily hodnoty povolených odchylek. Protokol o výpočtech polygonových pořadů i s hodnotami skutečných odchylek jsou uvedeny v přílohách 2.1, 2.3, protokoly o výpočtech výškových pořadů jsou uvedeny v přílohách 3.1, 3.3.

### 7.3 Zpracování výškového připojení

Pracovníci ODMG Dolu ČSA a RPG byty s.r.o. poskytli údaje výšek výchozích a kontrolních bodů. Výšky byly určovány periodicky přesnou geometrickou nivelací ze středu v rámci revírních nivelací.

Výška bodu 7004 byla určena trigonometricky z bodu P4. Výšky bodů 7019, 6012 byly určeny metodou GNSS a výšky bodů 5020 a 5021 byly převzaty z měření které probíhalo současně v rámci jiné diplomové práce.

Tab. 6: Extrapolace bodu P4.

Poskytnuté výšky [m]			Extrapolované výšky [m]	
VIII. 2008	IV. 2009	IV.2009	IX.2009	III.2010
283,408	283,390	283,391	283,39	283,38

Tab. 7: Výšky počátečních a koncových bodů výškového pořadu.

Č.b.	I. etapa	II. etapa
5021	251,36	251,33
6012	229,65	229,69
7004	276,79	276,81
7019	239,08	239,12

### 7.4 Zpracování podrobných bodů

Z naměřených hodnot byly v programu Kokeš v. 8.53.0. vypočteny souřadnice podrobných bodů pozorovací stanice. Záměry na jednotlivé podrobné body nepřekročily vzdálenost 200 m, proto se do výpočtů nezaváděly opravy z délek z kartografického zkreslení, nadmořské výšky, refrakce a zakřivení Země.

Seznam souřadnic podrobných bodů jsou uvedeny v příloze č. 8 na přiloženém CD.

## **7.5 Zpracování deformací**

Z výšek bodů pozorovací stanice se vycházelo při výpočtu podélných a příčných sklonů na silnici, naklonění a poloměrů zakřivení R.

K určení posunů a hodnot vodorovných přetvoření  $\epsilon$  se použily vypočtené polohové souřadnice X, Y podrobných bodů pozorovací stanice.

### Poklesy

Výpočty poklesů jednotlivých bodů jsou určovány z rozdílů jejich výšek v jednotlivých časových etapách pozorovací stanice počítány podle vzorce (4). Výpočty jsou zpracovány v programu MS Excel. Hodnoty poklesů jsou uvedeny v centimetrech.

V přílohách 5.3.2 jsou uvedeny tabulky s částečnými i celkovými poklesy bodů pozorovací stanice na silnici č. III/47214 (z důvodu rekonstrukce vozovky ze za výchozí měření považuje měření z IV.2007), 6.3.2 silnice č. II/474. V přílohách 5.3.1 a 6.3.1 jsou graficky znázorněny.

Získané hodnoty poklesů se u silnice č. III/47214 pohybují u dílčích poklesů (III.2010 – XI.2009) v rozmezí 0 až -5 cm, u celkových (III.2010 – IV.2007) v rozmezí -1 až -98. U silnice č. II/474 se dílčí poklesy (III.2010 – XI.2009) pohybují v rozmezí 0 až -4 cm a celkové poklesy (III.2010 – XI.2002) v rozmezí -5 až -116 cm.

### Posuny

Jednotlivé posuny jsou určovány z vodorovných souřadnic X a Y bodů pozorovací stanice v ose komunikace. Výpočty jsou provedeny v programu MS Excel. Hodnoty posunů jsou uvedeny v milimetrech, jejich orientace jsou dány směrníky v [g]. Počítáme jak celkový posun, tak i dílčí.

Tabulky s celkovými i částečnými posuny jsou uvedeny v přílohách č. 5.1.2 pro silnici č. III/47214 a 6.1.2 pro silnici č. II/474, grafické znázornění je v přílohách č. 5.1.1 a 6.1.1. Získané hodnoty posunů se u silnice č. III/47214 pohybují u dílčích posunů (III.2010 – XI.2009) v rozmezí 1 – 23 mm, u celkových posunů (III.2010 – IV.2007) v rozmezí 49 – 280 mm. U silnice č. II/474 se dílčí posuny (III.2010 – XI.2009) pohybují v rozmezí 1 – 7 mm a celkové posuny (III.2010 - VI.2005) v rozmezí 21 – 364 mm.



### Příčné a podélné sklony

Výpočty příčných a podélných sklonů na jednotlivých úsecích pozemní komunikace byly provedeny podle vzorce:

$$p = \frac{\Delta V}{l} \cdot 100 \quad [\%], \quad (57)$$

kde:  $p$  je podélný nebo příčný sklon,

$\Delta V$  je výškový rozdíl bodů, mezi kterými se příčný nebo podélný sklon určuje,

$l$  je vzdálenost mezi sledovanými body.

Dle ČSN 73 6101 [5] je maximální povolený příčný sklon 2,00 % a maximální podélný sklon 4,50 %.

V přílohách 5.5.1 (silnice č. III/47214) a 6.5.1 (silnice č. II/474) jsou uvedeny vypočtené výsledky příčných a podélných sklonů pro jednotlivé etapy měření sledovaných silnic. Hodnoty přesahující povolenou normu ČSN 73 6101 jsou zvýrazněny červeně.

U silnice č. III/47214 dosahovala u příčného sklonu nejvyšší hodnota 7,20 % a u podélného sklonu 3,92 %. U silnice č. II/474 dosahovala u příčného sklonu nejvyšší hodnota 10,40 % a u podélného sklonu 7,44 %.

### Naklonění

Podélné a příčné naklonění se vypočtou podle vztahu (7), výpočty jsou zpracovány v programu MS Excel. Hodnoty naklonění jsou uvedeny v mm/m.

V přílohách 5.4.2 (silnice č. III/47214) a 6.4.2 (silnice č. II/474) jsou uvedeny výsledky pro celkové a dílčího naklonění. Graficky jsou znázorněny v přílohách 5.4.1 a 6.4.1. Získané hodnoty naklonění se u silnice č. III/47214 pohybují u dílčích naklonění (III.2010 – XI.2009) v rozmezí -0,5 až 0,2 mm/m a u celkového naklonění (III.2010 – IV.2007) v rozmezí -3,6 až 4,4 mm/m. U silnice č. II/474 se dílčí naklonění (III.2010 – XI.2009) pohybují v rozmezí -0,6 až 4,2 mm/m a u celkového naklonění (III.2010 – IV.2005) v rozmezí -0,9 až 7,5 mm/m.

### Poloměr zakřivení

Poloměr zakřivení se určuje z naměřených hodnot poklesů tří bodů ležících v přímé linii. Výpočty jsou provedeny podle vzorce (8) v programu MS Excel. Hodnoty poloměru zakřivení jsou uvedeny v kilometrech.

V přílohách 5.6.2 (silnice č. III/47214) a 6.6.2 (silnice č. II/474) jsou uvedeny celkové i dílčí poloměry zakřivení, v přílohách 5.6.1 a 6.6.1 je jejich grafické znázornění. Získané hodnoty poloměru zakřivení se pohybují u silnice č. III/47214 u dílčích zakřivení (III.2010 – XI.2009) v rozmezí -6 až 7 km a u celkového zakřivení (III.2010 – IV.2007) v rozmezí -87 až 90 km. U silnice č. II/474 u dílčích zakřivení (III.2010 – XI.2009) v rozmezí -10 až 5 km a celkového zakřivení (III.2010 – IV.2005) v rozmezí -30 až 20 km.

### Vodorovné přetvoření

Určují se na základě změny vzdálenosti bodů za dobu, k jejich původní vzdálenosti. Podle vzorce (9) byly provedeny výpočty jednotlivých přetvoření. Hodnoty vodorovných přetvoření jsou uvedeny v mm/m. V programu MS Excel jsou provedeny výpočty vodorovných přetvoření.

V přílohách 5.2.2 (silnice č. III/47214) a 6.2.2 (silnice č. II/474) jsou uvedeny hodnoty celkových a dílčích vodorovných přetvoření. Graficky jsou znázorněny v přílohách 5.2.1 a 6.2.1.

Získané hodnoty vodorovného přetvoření se pohybují u silnice č. III/47214 u dílčích vod. přetvoření (III.2010 – XI.2009) v rozmezí -0,3 až 0,5 mm/m a u celkového vod. přetvoření (III.2010 – IV.2009) v rozmezí -5,5 až 3,3 mm/m. U silnice č. II/474 u dílčích vod. přetvoření (III.2010 – XI.2009) v rozmezí -0,6 až 0,4 mm/m a u celkového vod. přetvoření (III.2010 – IV.2005) v rozmezí -3,9 až 4,6 mm/m.

## **7.6 Zpracování grafických výstupů**

Podkladem pro vyhotovení grafických výstupů byly výsledky měření na silnicích č. III/47214 (staničení 0,800 km až 2,300 km) a č. II/474 (staničení 19,068 km až 21,421 km) a následně jejich zpracování. Grafické zpracování bylo vyhotoveno v programu Kokeš 8.53.0.

Byly vyhotoveny tyto grafické výstupy: situační schéma bodů PPBP silnice č. III/47214 (příloha 4.1), situační schéma bodů PPBP silnice č. II/474 (příloha 4.2), situační schéma pozorovací stanice silnice č. III/47214 (příloha 4.3), situační schéma pozorovací stanice silnice č. II/474 (příloha 4.4), podélný profil silnice č. III/47214 (příloha 4.5), podélný profil silnice č. II/474 (příloha 4.6).

## 8. Závěr

V roce 2002 bylo Institutem geodézie a důlního měřictví VŠB-TUO zahájeno periodické měření silnice č. III/47214 (staničení 0,800 km až 2,300 km) a silnice č. II/474 (staničení 19,068 až 21,421 km), nacházejících se na poddolovaném území Ostravsko – karvinského revíru.

Tato diplomová práce navazuje na dosavadní pozorování dalšími dvěma etapami měření. Úkolem bylo tyto silnice polohově a výškově zaměřit a následně posoudit jejich aktuální stav, určit hodnoty deformací působící na silniční těleso.

Měření proběhlo na podzim 2009 (listopad) a na jaře 2010 (březen). Před měřením proběhla rekognoskace terénu, která zahrnovala vyhledání a obnovení podrobných bodů pozorovací přímky. Pro zvýšení přesnosti při měření by byla nejlepší trvalá stabilizace všech bodů, ta však není možná z důvodu velké frekventovanosti dopravy a následných častých oprav na silnicích. Negativní vliv má také údržba vozovky v zimních měsících.

Po zpracování naměřených hodnot, a výpočtech jednotlivých deformací, nedošlo během intervalu listopad 2009 a březen 2010 k větším pohybům, pro srovnání se počítaly i hodnoty mezi prvním periodickým měřením a posledním.

Na silnici č. III/47214 dosahovaly dílčí poklesy (III.2010 – XI.2009) rozmezí 0 až -5 cm, největší poklesy byly na úsecích 1,250 až 1,425 km, celkové poklesy (III.2010 – IV.2007) dosahovaly rozmezí -1 až -98 cm a největší poklesy byly na úsecích 1,225 až 1,450 km. U silnice č. II/474 dosahovaly dílčí poklesy (III.2010 – XI.2009) hodnot 0 až -4 cm, největší poklesy byly na úsecích 20,443 až 20,768 km, celkové poklesy (III.2010 – XI.2002) dosahovaly rozmezí -5 až -116 cm a největší poklesy byly na úsecích 1,225 až 1,450 km. Posuny dosahovaly na silnici č. III/47214 dílčích hodnot (III.2010 – XI.2009) v rozmezí 1 až 23 mm, celkové posuny (III.2010 – IV.2007) rozmezí 49 až 280 mm, na silnici č. II/474 dosahovaly dílčí posuny (III.2010 – XI.2009) hodnot 1 až 7 mm, celkové posuny (III.2010 – VI.2005) hodnot 21 až 364 mm. Podélné a příčné sklony nejvíce přesahovaly povolené hodnoty dané normou ČSN 736101 v úsecích 19,643 – 20,293 km u silnice č. II/474, kde dosahovala nejvyšší hodnota podélného sklonu 7,44 % a příčného sklonu 10,40 % a u silnice č. III/47214 v úsecích 1,175 – 2,150 km, kde dosahovala

nejvyšší hodnota podélného sklonu 3,92 % a příčného sklonu 7,20 %. Z vypočtených hodnot naklonění, poměrných vodorovných přetvoření, poloměru zakřivení, lze sledované silnice zařadit do III. až V. skupiny stavenišť.

Výsledky měření dokladují dopady vlivů poddolování na silniční těleso a mohou být využity jednak pracovníky Správy silnic Moravskoslezského kraje, jednak při ověřování parametrů používaných při teoretických výpočtech.

## 9. Použitá literatura

- [1] NESET, K.: Vlivy poddolování, SNTL Praha, 1984
- [2] NOVÁK, J.: Vlivy poddolování a ochrana životního prostředí v hornické krajině, učební text VŠB – TUO, 1988
- [3] MIKULENKA, V.: Nauka o důlních škodách I. díl, Ostrava, 2008
- [4] SCHENK, J.: Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině, VŠB – TUO, 1999
- [5] ČSN 73 6101 Navrhování silnic a dálnic
- [6] NOVÁK, J.: Vlivy poddolování a ekologie hornické krajiny, VŠB – TUO, 1998
- [7] BRADÁČ, J.: Účinky poddolování a ochrana objektů, díl druhý, Dům techniky Ostrava, Ostrava, 1999
- [8] ČSN 73 0039 Navrhování objektů na poddolovaném území
- [9] SCHENK, J.: Globální polohové systémy v geodézii, 2003
- [10] KUBEČKA, E.: Geodézie a důlní měřictví, VŠB – TUO, 1992
- [11] ABELOVIČ, J., MIČUDA, J., MITÁŠ, J., WEIGEL, J.: Meranie v geodetických sieťach, Alfa, Bratislava, 1990
- [12] Vyhláška 435/1992 Sb. ČBÚ

## **10. Seznam obrázků**

Obr. 1: Ukázka silnice č. III/47214 u Dolu Karviná

Obr. 2: Plná účinná plocha pro vodorovná ložiska

Obr. 3: Hranice poklesové kotliny u vodorovného ložiska

Obr. 4: Obrys poklesové kotliny při vodorovném uložení pro různé hloubky

Obr. 5: Obrys poklesové kotliny při ukloněném uložení

Obr. 6: Parametry poklesové kotliny

Obr. 7: Naklonění dvou sousedních bodů

Obr. 8: Určení poloměru křivosti.

Obr. 9: Dvoupruhová silniční komunikace a její šířkové parametry

Obr. 10: Osa pozemní komunikace

Obr. 11: Niveleta trasy pozemní komunikace

Obr. 12: Dopad deformace stlačením terénu na obrubník.

Obr. 13: Oboustranně připojený a orientovaný polygonový pořad

Obr. 14: Princip měření polární metodou

Obr. 15: Princip určení převýšení

Obr. 16: Oprava z refrakce a zakřivení Země

Obr. 17: Oblast, ve které se nachází sledované silnice

Obr. 18: Ukázka číslování a stabilizace podrobných bodů

Obr. 19: GPS Systém 500

Obr. 20: Elektronický tachymetr Leica TCR 307

## **11. Seznam tabulek**

Tab. 1: Označení a jednotky jednotlivých druhů pohybů a deformací.

Tab. 2: Šířkové uspořádání dvoupruhové obousměrné komunikace [5].

Tab. 3: Seznam souřadnic bodů použitých pro výpočet transformačního klíče.

Tab. 4: Seznam souřadnic bodů určených metodou GPS pro I. Etapu.

Tab. 5: Seznam souřadnic bodů určených metodou GPS pro II. Etapu.

Tab. 6: Extrapolace bodu P4.

Tab. 7: Výšky počátečních a koncových bodů výškového pořadu.



## 12. Seznam příloh

- 1.1 Schéma rozložení daných a určovaných bodů pro transformaci metodou GNSS
- 1.2 Protokol výpočtu transformačního klíče
- 2.1 Výpočetní protokol polygonového pořadu, silnice č. II/474, I. etapa – XI.2009
- 2.2 Výpočetní protokol polygonového pořadu, silnice č. II/474, II. etapa – III.2010
- 2.3 Výpočetní protokol polygonového pořadu, silnice č. III/47214, I. etapa – XI.2009
- 2.4 Výpočetní protokol polygonového pořadu, silnice č. III/47214, II. etapa – III.2010
- 3.1 Výpočetní protokol výškového pořadu, silnice č. II/474, I. etapa – XI.2009
- 3.2 Výpočetní protokol výškového pořadu, silnice č. II/474, II. etapa – III.2010
- 3.3 Výpočetní protokol výškového pořadu, silnice č. III/47214, I. etapa – XI.2009
- 3.4 Výpočetní protokol výškového pořadu, silnice č. III/47214, II. etapa – III.2010
- 4.1 Situační schéma bodů PPBP, silnice č. III/47214
- 4.2 Situační schéma bodů PPBP, silnice č. II/474
- 4.3 Situační schéma pozorovací stanice, silnice č. III/47214
- 4.4 Situační schéma pozorovací stanice, silnice č. II/474
- 4.5 Podélný profil, silnice č. III/47214
- 4.6 Podélný profil, silnice č. II/474
- 5.1.1 Graf posunů bodů, silnice č. III/47214
- 5.1.2 Tabulka posunů bodů, silnice č. III/47214
- 5.2.1 Graf vodorovných přetvoření bodů, silnice č. III/47214
- 5.2.2 Tabulka vodorovných přetvoření bodů, silnice č. III/47214
- 5.3.1 Graf poklesů bodů, silnice č. III/47214
- 5.3.2 Tabulka poklesů bodů, silnice č. III/47214
- 5.4.1 Graf naklonění bodů, silnice č. III/47214
- 5.4.2 Tabulka naklonění bodů, silnice č. III/47214
- 5.5.1 Tabulka podélného a příčného sklonu, silnice č. III/47214
- 5.6.1 Graf poloměru zakřivení, silnice č. III/47214
- 5.6.2 Tabulka poloměru zakřivení, silnice č. III/47214
- 6.1.1 Graf posunů bodů, silnice č. II/474
- 6.1.2 Tabulka posunů bodů, silnice č. II/474
- 6.2.1 Graf vodorovných přetvoření bodů, silnice č. II/474

- 6.2.2 Tabulka vodorovných přetvoření bodů, silnice č. II/474
- 6.3.1 Graf poklesů bodů, silnice č. II/474
- 6.3.2 Tabulka poklesů bodů, silnice č. II/474
- 6.4.1 Graf naklonění bodů, silnice č. II/474
- 6.4.2 Tabulka naklonění bodů, silnice č. II/474
- 6.5.1 Tabulka podélného a příčného sklonu, silnice č. II/474
- 6.6.1 Graf poloměru zakřivení, silnice č. II/474
- 6.6.2 Tabulka poloměru zakřivení, silnice č. II/474
- 7. Místopisy bodů pro výpočet transformačního klíče, naměřená data (CD nosič)
- 8. Souřadnice podrobných bodů pozorovací stanice (CD nosič)
- 9. Kalibrační protokol Leica TCR 307